

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2002374302 A

(43) Date of publication of application: 26.12.02

(51) Int. Cl.

H04L 12/56

H04L 1/16

(21) Application number: 2001181284

(22) Date of filing: 15.06.01

(71) Applicant: NTT DOCOMO INC

(72) Inventor: MORIYA YUUKI
ATSUMI YUKIO

(54) RTT-MEASURING METHOD AND SYSTEM

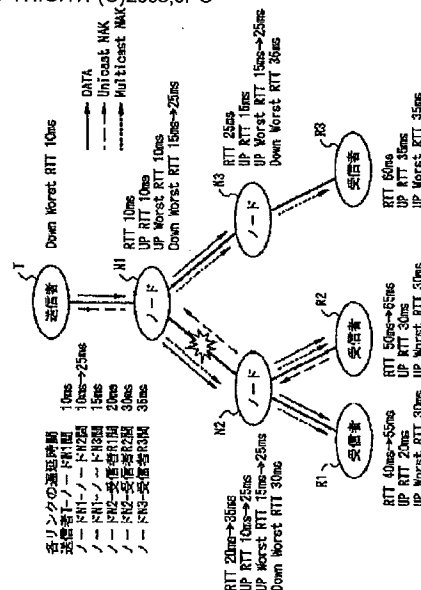
the receiver node measures the RTT value.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)2003,JPO

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize a RTT-measuring method, capable of efficiently measuring an RTT value, taking into consideration for the presence/absence of congestion.

SOLUTION: The RTT value which the time for transmitting and receiving a packet is measured by using a retransmission request packet to be transmitted toward an upstream node in the case of a data packet loss in a network, containing a plurality of nodes and a downstream direction packet (a retransmission request suppressing packet or a retransmission data packet) to be transmitted to a downstream node in response to the packet. A receiver node, detecting the loss of a data packet transmits the retransmission request packet including a time stamp value and the address of its own node to the upstream node by a unicast. And the upstream node receiving the retransmission request packet transmits the downstream direction packet including the time stamp value and the address to the downstream node by a multicast. Based on the time stamp value included in the downstream direction packet,



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-374302
(P2002-374302A)

(43) 公開日 平成14年12月26日 (2002. 12. 26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 4 L 12/56	4 0 0	H 0 4 L 12/56	4 0 0 Z 5 K 0 1 4
	2 6 0		2 6 0 A 5 K 0 3 0
1/16		1/16	

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2001-181284(P2001-181284)
(22) 出願日 平成13年6月15日 (2001. 6. 15)

(71) 出願人 392026693
株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ
東京都千代田区永田町二丁目11番1号
(72) 発明者 森谷 優貴
東京都千代田区永田町二丁目11番1号 株
式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ内
(72) 発明者 渥美 幸雄
東京都千代田区永田町二丁目11番1号 株
式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ内
(74) 代理人 100066980
弁理士 森 哲也 (外2名)

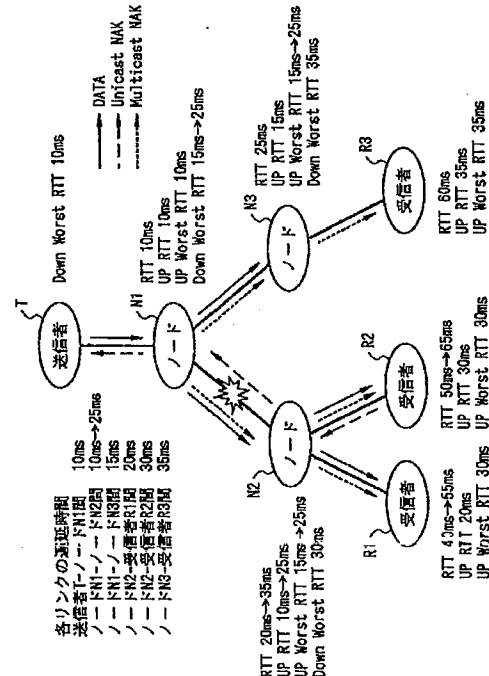
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 R T T測定方法、及び、R T T測定システム

(57) 【要約】

【課題】 輻輳の有無等を考慮してR T T値をより効率的に測定することのできるR T T測定方法を実現する。

【解決手段】 複数のノードを含むネットワークにおけるデータパケットロス時に上流ノードに向けて送信される再送要求パケットと該パケットに応答して下流ノードに向けて送信される下流方向パケット（再送要求抑圧パケット、又は再送データパケット）とを使用してパケット送受信の往復時間であるR T T値を測定する。データパケットのロスを検出した受信者ノードは、タイムスタンプ値及び自ノードのアドレスを含む再送要求パケットをユニキャストで上流ノードに送信し、再送要求パケットを受け取った上流ノードは上記タイムスタンプ値及び上記アドレスを含む下流方向パケットをマルチキャストで下流ノードに送信し、下流方向パケットに含まれているタイムスタンプ値に基づいて受信者ノードにおいてR T T値を測定する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数のノードを含むネットワークにおいて、データバケットのロス時に上流ノードに向けて送信される再送要求バケットと該バケットにตอบสนองして下流ノードに向けて送信される下流方向バケットとを使用してバケット送受信の往復時間であるRTT値の測定を行うRTT測定方法であって、

データバケットのロスを検出した受信者ノードは、タイムスタンプ値及び自ノードのアドレスとを含む再送要求バケットをユニキャストで上流ノードに送信し、前記再送要求バケットを受け取った上流ノードは前記タイムスタンプ値及び前記アドレスを含む下流方向バケットをマルチキャストで下流ノードに送信し、前記受信者ノードにおいては、前記下流方向バケットに含まれているタイムスタンプ値に基づいてRTT値を測定することを特徴とするRTT測定方法。

【請求項2】 前記下流方向バケットは、再送要求抑圧のために上流ノードから送信される再送要求抑圧バケットであることを特徴とする請求項1記載のRTT測定方法。

【請求項3】 前記下流方向バケットは、前記再送要求バケットにตอบสนองして前記データバケットの送信元である送信者ノードから送信される再送データバケットであることを特徴とする請求項1記載のRTT測定方法。

【請求項4】 前記上流ノードは、前記下流方向バケットを送信する際、自ノードから前記送信者ノードまでの最新のRTT値を付加し、該バケットを受け取ったノードは、該RTT値と、自ノードから前記上流ノードまでのRTT値とを参照して自ノードから前記送信者ノードまでのRTT値を設定するようにしたことを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のRTT測定方法。

【請求項5】 前記上流ノードは、前記下流方向バケットを送信する際、自ノードからその直下の最遠ノードまでのRTT値を付加し、前記下流方向バケットを受け取ったノードは、該RTT値を参照して上流ノードからその直下の最遠ノードまでのRTT値を設定するようにしたことを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載のRTT測定方法。

【請求項6】 前記上流ノードは、最先の再送要求バケットについてはのみ上流に送信し、他の再送要求バケットについては破棄することを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載のRTT測定方法。

【請求項7】 前記上流ノードは、配信すべきデータを保持し、前記再送要求バケットを受け取った場合には、前記送信者ノードの代わりにデータバケットを配信するローカルリカバリを行うことを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載のRTT測定方法。

【請求項8】 複数のノードを含むネットワークにおいて、データバケットのロス時に上流ノードに向けて送信

される再送要求バケットと該バケットにตอบสนองして下流ノードに向けて送信される下流方向バケットとを使用してバケット送受信の往復時間であるRTT値の測定を行うRTT測定システムであって、

データバケットのロスを検出したとき、タイムスタンプ値及び自ノードのアドレスとを含む再送要求バケットをユニキャストで上流ノードに送信する受信者ノードと、前記再送要求バケットを受け取ったときに、前記タイムスタンプ値及び前記アドレスを含む下流方向バケットをマルチキャストで下流ノードに送信する上流ノードと、を含み、前記受信者ノードにおいて、前記下流方向バケットに含まれているタイムスタンプ値に基づいてRTT値を測定することを特徴とするRTT測定システム。

【請求項9】 前記下流方向バケットは、再送要求抑圧のために上流ノードから送信される再送要求抑圧バケットであることを特徴とする請求項8記載のRTT測定システム。

【請求項10】 前記下流方向バケットは、前記再送要求バケットにตอบสนองして前記データバケットの送信元である送信者ノードから送信される再送データバケットであることを特徴とする請求項8記載のRTT測定システム。

【請求項11】 前記上流ノードは、前記下流方向バケットを送信する際、自ノードから前記送信者ノードまでの最新のRTT値を付加し、該バケットを受け取ったノードは、該RTT値と、自ノードから前記上流ノードまでのRTT値とを参照して自ノードから前記送信者ノードまでのRTT値を設定するようにしたことを特徴とする請求項8～10のいずれかに記載のRTT測定システム。

【請求項12】 前記上流ノードは、前記下流方向バケットを送信する際、自ノードからその直下の最遠ノードまでのRTT値を付加し、前記下流方向バケットを受け取ったノードは、該RTT値を参照して上流ノードからその直下の最遠ノードまでのRTT値を設定するようにしたことを特徴とする請求項8～11のいずれかに記載のRTT測定システム。

【請求項13】 前記上流ノードは、最先の再送要求バケットについてののみ上流に送信し、他の再送要求バケットについては破棄することを特徴とする請求項8～12のいずれかに記載のRTT測定システム。

【請求項14】 前記上流ノードは、配信すべきデータを保持し、前記再送要求バケットを受け取った場合には、前記送信者ノードの代わりにデータバケットを配信するローカルリカバリを行うことを特徴とする請求項8～13のいずれかに記載のRTT測定システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はRTT測定方法、及び、RTT測定システムに関し、特に複数のノードを含

10

20

30

40

50

むネットワークにおけるRTT (Round Trip Time) を測定する方法、及び、測定システムに関する。

【0002】

【従来の技術】既存のインターネットのようなベストエフォート型のネットワークにおいて、信頼性を確保するためには受信者は受信に対する応答を行う必要がある。ユニキャスト通信では送達確認応答(ACK)を送信するのが一般的である。一方、マルチキャスト通信においては、一人の送信者が送信したパケットに対する受信者が複数存在し、全ての受信者がACKを送信すると送信者にACKが集中してしまう問題が発生し、スケーラビリティが低下する。このため、マルチキャスト通信では、受信者がパケットを受信できなかった場合にのみ再送要求(Negative ACK; 以下、NAKと略す)を送信するのが一般的である。

【0003】NAKパケットは受信者から送信者に向けて送信されるが、送信者までの経路中に輻輳等があるとNAKパケットがロスしてしまい送信者に到達しないことがある。このため、受信者はNAKパケットを送信した後、一定時間応答がない場合はNAKパケットを再送する必要がある。この再送を行うまでの時間間隔は、送信者と受信者との間の往復時間であるRTTを基準として設定されるため、受信者が自身から送信者までのRTT値を知っている必要がある。

【0004】この再送までの時間間隔が短い場合は送信者が再送データを送信しても、それが受信者に届く前にNAKパケットを再送してしまうことになる。すると、送信者はもう一度再送を行うこととなり、ネットワーク内に無駄なパケットを送信してしまうことになる。また、再送までの時間間隔が長い場合は、送信者に対するNAKパケットがロスした場合や、送信者が再送したデータがロスした場合に、次の再送までの時間間隔が長くなってしまふ。よって、ロスしたパケットを修復するのに時間がかかってしまふ。このため、RTT値を正確に見積もることができれば信頼性マルチキャスト通信の効率を向上させることができる。

【0005】また、同じデータパケットに対してのNAKパケットは送信者に対して1つだけ届けばよく、同一のデータパケットに対して、多くの受信者がいっせいにNAKパケットを送信した際は、送信者への無駄なNAKの集中が起こる。このため、受信者はNAKパケットを送信するまでにランダムな時間だけ待ち、NAKパケットの送信時刻を受信者ごとによらずし、受信者がNAKパケットをマルチキャストで自分以外の全受信者及び送信者に送信する。こうすることにより、受信者がNAKパケットを送信する前に、他の受信者からのNAKパケットを受信した場合はNAKパケットを送信しないという手法(NAK Suppression: NAK抑圧)が提案されている。このときに待つランダムな時間

としては、当該受信者群中で最もRTT値が大きい受信者のRTT値(最速受信者のRTT値)を基にして、設定されるのが一般的である。

【0006】以下、既存技術として、マルチキャスト、信頼性マルチキャスト、ネットワークノード(ルータ)サポートによる信頼性マルチキャスト、NAK集約、NAK抑圧、ローカルリカバリ処理、NAK抑圧とNAK集約との同時利用、信頼性マルチキャストにおけるRTT値の測定方法、について説明する。

(マルチキャスト)マルチキャストとは、1対n、もしくはn対nの通信を行う技術である。送信者はn人の受信者に同一のデータを配信する際に、n人に対してn回配信するのではなく、1回送信を行うとネットワーク中のマルチキャストルータがデータの複製を行い、複数の受信者に配信する。

【0007】(信頼性マルチキャスト)インターネットはベストエフォート型(データを宛先に届けるための努力はするが、信頼性は保証しない)のネットワークであるため、送信者はデータを送信しても受信者が確実にデータを受け取れるとは限らない。信頼性マルチキャストは、マルチキャスト通信において全ての受信者にデータが確実に届けられることを保証する技術である。これには、受信者が正常に受信できた場合に、送信者に対して送達確認であるACKを返す方式と、あるデータを受信した時にそのデータと以前に受信したデータとの間に連続性がなかった場合に、データの欠落を検知して、そのデータの再送を要求するNAKパケットを送信する方式とがある。ACKを送信する場合は、全ての受信者が全ての受信したデータに対してACKを返す。このため、送信者に大量のACKが返るので、NAKパケットを使用する方式の方が一般的にスケーラビリティが高い。

【0008】(ネットワークノード(ルータ)サポートによる信頼性マルチキャスト)マルチキャストルータは送信者から受信者への配信の際に、データの複製を行い、送信者が送信した1つのデータを複数の受信者に配信するが、受信者から送信者への経路ではNAKパケットを中継するだけで、データの複製を行うことはない。これに対して、受信者から送信者への経路においてもルータに処理をさせることにより、信頼性マルチキャスト配信を効率的に行う方法が提案されている。具体的にルータが行う処理としては、複数の受信者からの1つのデータに対するNAKパケットについては送信者に対して1つだけ届けば十分であるため、最初に届いたNAKパケットについては送信者に向けて転送するが、後から来た重複するNAKパケットについてはルータが廃棄するNAK Aggregation (NAK集約) 処理や、送信者から送信されたデータをキャッシュに保存しておき、受信者からのNAKが届いた際に送信者に代わって再送を行うローカルリカバリ処理等がある。これら

10

20

30

40

50

ことが知られている。なお、これらの処理を行う機能をルータに持たせるという考え方と、ルータに隣接してサーバ装置を配置し、そのサーバ装置にこれらの処理をさせるという考え方とがあるため、両者を総称してネットワークノード装置（以後、ノードと称する）として説明する。

【0009】（NAK集約）信頼性を保証するためにACKの代わりにNAKパケットを使用しても、ネットワークの輻輳はルータキューでおこるのが一般的である。このため、あるデータがルータキューで破棄されると、そのルータを経由して配信される全ての受信者が同じデータの欠落を検知することとなり、それらの受信者全てがNAKパケットを送信し、同じデータに対する多くのNAKが送信者に届くこととなる。送信者はデータに対する再送要求を受け取るとデータを再送するが、同じデータに対するNAKが複数届いた場合は、最初のNAKパケットに対しては再送を行う。しかし、後から到着したNAKパケットに対しても再送を行うと再送が重複してなされ、無駄なパケットをネットワークに送出してしまうことになる。そこで、重複NAKパケットに対してはデータの再送を行わず、重複NAKパケットを破棄する。

【0010】送信者から近い位置にあるルータキューで輻輳が起こった場合等は、多くの受信者が同じデータに対する欠落を検知し、NAKパケットを送信することとなり、無駄なNAKが大量に発生し、送信者に向かうリンクの帯域を圧迫してしまいスケーラビリティが低下してしまうことが考えられる。これを解決する手段として、ネットワーク中のノード装置（ルータ）において、NAKの統合を行い、送信者に到達するNAKの量を減少させ、スケーラビリティを向上させるという方法が提案されており、それをNAK集約という。

【0011】ノード装置はデータに対するNAKパケットを受け取ると、そのNAKがそのデータに対する最初のNAKであれば、NAKパケットを送信者に向けて転送し、そうでなければNAKパケットを破棄するという処理を行うことになる。この処理を実現するために、ノード装置ではパケットのシーケンス番号とそのNAKパケットを上流に何度転送したかを示すカウンタ数値とを保持する。ここで何度転送したかを示すカウンタ数値を保持する必要があるのは、次の理由による。すなわち、一度NAKパケットを送信しても、そのデータがまた落ちてしまうことがあり、NAKパケットを送信した際にはタイマをかけ、そのタイマが切れるまでにデータが来なければ再度NAKパケットを送信するという処理を行うので、NAK集約を行うためには、ノード装置においてNAKパケットを送信した回数をカウントしておく必要があるためである。この時にかけられるタイマ値は受信者と送信者との間のRTT値を基準とするのが一般的である。

【0012】各受信者もノード装置と同様に欠落したデータに対してNAKパケットを何度送信したかを記録している。そして、NAKパケットを送信する際には、それが何度目のNAKであるかを示すカウンタ数値をNAKパケットに含めて送信する。ノード装置では各受信者から届いたNAKパケットのNAKカウンタ数値と自分が保持しているNAKカウンタ数値とを比較し、受信者からのNAKパケットのNAKカウンタ数のほうが大きければ、送信者へ向けて転送するというを行う。一方、NAKパケットのNAKカウンタ数が、自身が保持しているNAKカウンタ数と同じか小さければ、すでに転送したことのあるNAKなので破棄する。図6にNAK集約時のノードでの処理が示されている。同図において、NAK集約時のノードでは以下のように処理が行われる。

（1）送信者Tはデータを順番に1つずつ送信し、ノード装置（マルチキャストルータ）がパケットを複製し、受信者R1、R2にそれぞれ配信する。

（2）各受信者はデータを受け取ると以前のデータで抜けているものがないか検査をし、抜けているものがあれば、ノード装置NにNAKで再送要求をする。なお、同図において、網掛け部分はデータが抜けている部分である。

（3）NAK送信の際に受信者R1はタイマを設定し、そのタイマが切れるまでにデータが送られてこないと、NAKパケットを再送する。

（4）ノードは受信者からのNAKパケットを受け取るとそのNAKが何度目のNAKであるかを調べ、その回数の最初のNAKであれば送信者に送信し、そうでなければ破棄する。

（5）上記の例であれば、受信者R1はデータ3、5に対するNAKパケットを送信し、受信者R2はデータ2、5に対するNAKパケットを送信するので、ノードNには計4つのNAKが届くが、ノードNはデータ5に対するNAKパケットは最初に届いた受信者R1からのNAKパケットを送信者Tに転送し、後から届いた受信者R2からのNAKパケットは破棄することによりNAKの統合が行われる。

【0013】（NAK抑圧）同じデータパケットに対してのNAKパケットは送信者に対して1つだけ届けばよく、同一のデータパケットに対して、多くの受信者がいっせいにNAKパケットを送信した際は、送信者への無駄なNAKの集中が起こる。このため、受信者はNAKパケットを送信するまでにランダムな時間だけ待ち、NAKパケットの送信時刻を受信者ごとにずらし、受信者がNAKパケットをマルチキャストで自分以外の全受信者及び送信者に送信することにより、受信者がNAKパケットを送信する前に、他の受信者からのNAKパケットを受信した場合はNAKパケットを送信しないようにする。この手法がNAK抑圧である。これを使用するこ

とにより、受信者のNAKの送出を抑えることができ、送信者へのNAKの集中を避けることができる。このときに待つランダムな時間としては、当該受信者群中で最もRTT値が大きい受信者のRTT値（最遠受信者のRTT値）を基にして、設定されるのが一般的である。図7にはNAK抑圧処理が示されている。同図において、NAK抑圧処理は、以下のように行われる。

(1) DATA (2) が送信者TとノードNとの間でロス（送信者の送出キューでロス）し、受信者R1, R2共にDATA (3) 以降を受け取った際にDATA (2) のロスを検出する。

(2) 受信者R1, R2共にそれぞれ個別にランダムにタイマを設定し、タイマが切れるまでNAK (2) を送信するのを待つ。

(3) 受信者R1のタイマが先に切れて、受信者R1はマルチキャストでNAK (2) を送信する。

(4) ノードNはマルチキャストパケットであるNAK (2) を複製し、送信者Tと受信者R2に配信する。

(5) 受信者R2はタイマが切れる前にNAK (2) を受信したので、NAK (2) の送信を行わない。

(6) 送信者TがDATA (2) を再送する。

(7) これにより送信者Tに届くNAK (2) は1つに抑えられるので、NAKの集中が避けられる。

【0014】（ローカルリカバリ処理）ノード装置において、送信者から配信されたデータをキャッシュに保存しておき、受信者からのNAKが届いた際に、送信者に代わりノードが配信を行うことにより、リカバリまでにかかる時間が短縮できる。また、送信者に向けてNAKパケットを送信したかどうかを記録しておき、NAKパケットを送信していないデータについては配下の受信者に配信する必要がないため、破棄するという処理を併せて行うことにより、無駄なデータの再送を防ぐこともできる。ノード装置に保存できるデータの容量に制限があるため、キャッシュ方式は、FIFO (First In First Out) で行われるのが一般的であり、再送されたデータだけキャッシュする方式と、送信者が送信した全てのデータをキャッシュしていく方式とがある。ノードが行う処理としては、配下からのNAKパケットを受け取った際に、自身のキャッシュにデータがあるかどうかをチェックし、もし存在する場合は、配信を行い、なければNAKパケットを上流に転送したということ記録して、上流にNAKパケットを転送するという処理を行うことになる。再送データが届くと、そのデータに対するNAKパケットを上流に転送したことがあるかチェックし、もし以前にNAKパケットを転送していれば、配下の受信者に対してマルチキャストでデータを配信するが、転送していなければデータを破棄する。この際に必要ならば再度のNAKパケットに対応するためにデータをキャッシュする処理を行う。図8を参照してローカルリカバリ処理について説明する。同図

において、ローカルリカバリ処理は、以下のように行われる。

(1) 受信者R1がDATA (2) が欠落していることを検知してNAK (2) を送信する。

(2) ノードN2はDATA (2) がキャッシュに保存されていないので、NAK (2) を上流に転送する。

(3) ノードN1はDATA (2) がキャッシュに保存されているので、DATA (2) をマルチキャスト送信する。

(4) ノードN2はNAK (2) を上流に転送した記録があるので、配下にDATA (2) をマルチキャスト送信する。

(5) ノードN3はNAK (2) を上流に転送していないので、DATA (2) を配下に送信せず破棄する。

(6) 受信者R1はDATA (2) を受け取る。

(7) 受信者R2はすでにDATA (2) を持っており、NAK (2) を送信していないので、受け取っても破棄するだけである。

(8) ここでNAKが届いた受信者以外にもノード装置がDATAをマルチキャストしているのは、NAK抑圧により、NAKパケットを送信しなかった受信者に対してもDATAを送信する必要があるためである。

【0015】（NAK抑圧とNAK集約の同時利用）簡単のため、送信者が1人に対して複数の受信者が存在するツリー状のマルチキャストグループを仮定する。各受信者はデータの欠落を検出するとNAKパケットを送信者に向けてユニキャストで送信する。ネットワーク中のノードはNAKパケットを受け取るとNAK集約により、それを送信者に向けて転送するべきかどうか判断する。NAKパケットを送信者に向けて転送する際には、他の受信者がそれ以上NAKパケットを送出しないようにするために配下の受信者に対してNAKパケットをマルチキャストで送信する。マルチキャストされたNAKパケットを受信した受信者はそのデータに対するNAKパケットを送信することを中止してNAKパケットを再送するまでのタイマを設定しなおす。ツリー状に配置されたノード装置についても受信者と同様の処理を行うことにより、ネットワークに送信されるNAKの数を減らすことができ、スケーラビリティが向上する。NAK抑圧しか行わない場合は、受信者はランダムな時間待った後に、必ずNAKパケットをマルチキャスト送信するので、設定したタイマの値によってはマルチキャストで送信されたNAKが届く前に、他の受信者が無駄なマルチキャストNAKパケットを送信してしまうことが起こりえる。これは受信者同士の距離が遠い場合等にしばしば起こることであり、ネットワーク中にはNAKが送信されているのに、受信者にはまだ届いていないこととなる。

【0016】この問題について図9を参照して説明する。同図には、NAK抑圧しか行わない場合の問題点が

示されている。

(1) 受信者R1, R2, R3が同じデータの欠落を検出したとする。

(2) 各受信者は個別に送信者までのRTT値を基にランダムな時間でタイマを設定する。

(3) 受信者R1のタイマが切れて受信者R1がマルチキャストでNAKパケットを送信する。

(4) 受信者R2はタイマが切れる前にNAKパケットを受け取り、NAKパケットを送信するのを中止する。

(5) 受信者R3はタイマが切れる前にNAKパケットを受信できず、タイマが切れてNAKパケットをマルチキャストで送信する。

(6) NAKパケットを送信した後で受信者R3はマルチキャストで送信されたNAKパケットを受信するので、NAK抑圧の効果が働かない。

(7) 受信者R2及び送信者Tは同じデータに対するNAKパケットを2つ受信することになり、ネットワーク中に無駄なパケットが流れたことになる。

【0017】しかしながらNAK抑圧とNAK集約とを同時利用する方式では、ネットワーク中のルータに向けてユニキャストで送信し、ルータはNAKパケットを送信者に向けて転送する必要がある場合か、上流に転送したことのないNAKパケットに対するマルチキャストNAKパケットを上流から受け取った場合にだけ、NAKパケットを配下にマルチキャスト配信するために、途中のルータが以前に他の受信者からのNAKパケットを受信している場合は、NAKパケットを送信者に向けて転送することも、配下にマルチキャストでNAKパケットを送信することもなくなる。このため、ネットワーク中にNAKパケットが流れている場合に受信者がNAKパケットを送信した場合でも、ルータによってそのNAKパケットが破棄されて無駄なNAKパケットが広がらないという利点がある。なお、NAK抑圧とNAK集約とを同時利用する場合は、NAK抑圧時に設定するランダムなタイマの値は、すぐ上流のノード装置配下中の、最速受信者のRTT値を基に設定することになる再送タイマについては送信者までのRTT値を基準とする。図10を参照して、NAK抑圧とNAK集約との同時利用について説明する。同図において、NAK抑圧とNAK集約との同時利用の場合には、以下のように処理が行われる。

(1) 図10の処理においては図9と同じ状態を仮定しているが、各ノードはNAKパケットを受信したかどうか、NAKパケットを転送したかどうかを記録している。

(2) 受信者R1はNAKパケットをノードN2に送信し、ノードN2はNAKパケットをマルチキャストで受信者R1, R2に対して送信し、ノードN1にユニキャストでNAKパケットを送信する。

(3) 受信者R2はタイマが切れる前にNAKパケット

を受信するので、NAKの送信を中止する。

(4) ノードN1はノードN2からのNAKパケットを受信すると、送信者にユニキャストで、ノードN2とノードN3にマルチキャストでNAKパケットを送信する。

(5) 受信者R3はタイマが切れる前にNAKパケットを受信できず、タイマが切れてNAKパケットをユニキャストでノードN3に送信する。

(6) ノードN3は受信者R3からのNAKパケットを受け取るが、ノードN1からマルチキャストで配信されたNAKパケットを受け取って配下に配信しているのでNAKパケットをノードN1に向けて送信しない。

(7) 送信者及び受信者R2はNAKパケットを一度しか受け取らず、NAK抑圧がうまく働いている。

【0018】(信頼性マルチキャストにおけるRTT値の測定方法) 前述のようにRTT値を知っている必要があるのは受信者であるので、受信者主体でRTT値を測定することになる。受信者は定期的にRTT測定用のパケットを送信者に向けて送信することになる。まずここでは、送信者と受信者しかいない状態を仮定する。この場合は、受信者は送信者に向けてユニキャストで、送信時刻をタイムスタンプとして付加したパケットを送信する。送信者はパケットを受け取ると、返信のパケットに受信したパケットのタイムスタンプ値を付加して送信する。受信者は返信されたパケットに付加されているタイムスタンプ値と受信時刻との差分をとることによって、RTT値を見積もることができる。

【0019】また、NAK抑圧のためには受信者群の中で最もRTT値が大きい受信者のRTT値を全受信者が知る必要がある。このために受信者は前回のRTT測定で求めたRTT値をRTT測定のパケットに付加して送信者に送信する。送信者は最もRTT値の大きい受信者のRTT値を保持しており、各受信者から送信されたRTTパケットを受け取ると、そのパケットに付加されているRTT値と保持しているRTT値とを比較して、パケットに付加されているRTT値のほうが大きければ保持情報を更新する。そして、送信者は返信するRTT測定パケットに保持しているRTT値を付加して送信する。

【0020】これにより、受信者はRTT測定パケットを受け取ると、自身のRTT値と全受信者のなかで最も大きなRTT値との両方を知ることができる。なお、この方式では送信者の保持情報のRTT値が小さい値で更新されることはないので、送信者は悪い状態のRTT値をいつまでも保持していることになる。これでは問題があるので、保持しているRTT値が悪い状態のままにならないようにする。これには、最も大きなRTT値の受信者のアドレスを記録しておき、その受信者からのRTT値報告に関しては小さな値でも更新するという方法や、一定時間が経過すると、報告されたRTT値が小さ

な値であったとしても、更新を行うという方法等を用いる。

【0021】図11を用いてこのRTT測定方法について説明する。同図には、送信者と受信者との間のみでのRTT測定を行う場合の処理が示されている。

(1) 各受信者R1, R2, R3はランダムにRTT測定バケットを送信者Tに向けて送信する。RTT測定バケットには、送信時刻のタイムスタンプ、前回測定した送信者までのRTT値をデータとして付加する。

(2) 送信者TはRTT測定バケットを受け取ると、バケットに付加されているRTT値と保持しているDown Worst RTT値とを比較する。そして、バケットに付加されているRTT値のほうが悪ければDown Worst RTT値を更新する。なお、Down Worst RTT値は、下流への最悪RTT値である。

(3) 送信者Tは受信者R1, R2, R3に向けて応答のバケットを返信する。返信バケットには、受信したRTT測定バケットのタイムスタンプと、Down Worst RTT値をデータとして入れる。

(4) 受信者R1, R2, R3はRTT測定バケットに対する応答バケットを受け取るとバケットに付加されているタイムスタンプ値と受信時刻との差分から自身のRTT値を見積もり、バケットに付加されているDown Worst RTT値で保持しているUP Worst RTT値を更新する。なお、UP Worst RTT値は、上流への最悪RTT値である。

【0022】以上の場合においては、送信者と受信者との間でRTT値を測定している。NAK抑圧やNAK集約を行う場合は、ネットワーク中のノード装置もNAK*

*バケットを送信するので送信者までのRTT値を知る必要があり、また受信者及びノード装置はNAK抑圧のために、上流のノード装置配下の受信者で、ノード装置からのRTT値が最も大きい受信者もしくはノード装置のRTT値を知る必要があるため、前述の受信者と送信者との間でやり取りされるRTT測定をツリー状に行う。これにより、NAK抑圧やNAK集約を行う場合に必要となるRTTパラメータを各ノード装置も知ることができる。とともに、ネットワーク中に流れるRTT測定のバケット数も少なくすることができる。

【0023】特に受信者と送信者との間だけでRTT値の測定を行う際には送信者は全受信者からのRTT測定バケットを処理しなければならないが、ノード装置を介してツリー状にRTT測定を行う場合には、直下のノード装置もしくは受信者からのRTT測定バケットのみを処理すればよく、送信者の負荷が軽減される。この方式を行うためには、各ノード装置は配下の受信者のうち最もRTT値が大きい受信者のRTT値を保持する必要がある。

【0024】また、各ノードはRTT測定バケットに対する応答バケットに自身から送信者までのRTT値を付加することにより、受信者が送信者までのRTT値を見積もることができるようになる。ここで、表1及び図12を参照して、RTT測定をツリー状に行う方式について説明する。表1は送信者と受信者との間及びツリー構造を使用してRTT測定を行う場合のRTT測定バケット及びその応答バケットの内容を示す表である。

【0025】

【表1】

RTTを測定する方式	バケットの種類	バケット中のデータ		
送受信者間のみ	RTT測定バケット	送信時刻のタイムスタンプ	自身から送信者までのRTT値	
	応答バケット	RTT測定バケットのタイムスタンプ	Down Worst RTT	
ツリー構造を利用	RTT測定バケット	送信時刻のタイムスタンプ	自身から上位ノードまでのRTT値(UP RTT)	
	応答バケット	RTT測定バケットのタイムスタンプ	Down Worst RTT	自身から送信者までのRTT値

【0026】表1に示されているように、RTT値を測定する方式が送受信者間のみである場合、RTT測定バケットには送信時刻のタイムスタンプ及び自身から送信者までのRTT値がデータとして含まれており、応答バケットにはRTT測定バケットのタイムスタンプ及びDown Worst RTT値がデータとして含まれている。また、RTT値を測定する方式がツリー構造を利用する場合、RTT測定バケットには送信時刻のタイム

スタンプ及び自身から上位ノードまでのRTT値(UP RTT)がデータとして含まれており、応答バケットにはRTT測定バケットのタイムスタンプ及びDown Worst RTT値並びに自身から送信者までのRTT値がデータとして含まれている。

【0027】図12は、ツリー構造を用いたRTT測定を説明するための図である。

(1) 各受信者R1, R2, R3、及びノードN1, N

2, N3は、ランダムにRTT測定パケットを上位ノードに向けて送信する。RTT測定パケットには、送信時刻のタイムスタンプ、前回測定した上位ノードまでのUP RTT値を入れる。

(2) 送信者T及びノードN1, N2, N3は、RTT測定パケットを受け取ると、そのパケットに付加されているRTT値と保持しているDown Worst RTT値とを比較し、パケットのRTT値のほうが悪ければDown Worst RTT値を更新する。

(3) 送信者T及びノードN1, N2, N3は、RTT測定パケットの送信者に向けて応答のパケットを返信する。返信パケットには、受信したRTT測定パケットのタイムスタンプと、Down Worst RTT値及び自身のRTT値(送信者Tの場合は0)とをデータとして付加する。

(4) 受信者R1, R2, R3及びノードN1, N2, N3は、RTT測定パケットに対する応答パケットを受け取ると、そのパケットに付加されているタイムスタンプ値と受信時刻との差分から自身と上位ノードとの間のUP RTT値を見積もり、そのパケットに付加されている上位ノードから送信者TまでのRTT値を加えて自身から送信者TまでのRTT値とする。また、パケットに付加されているDown Worst RTT値で保持しているUP Worst RTT値を更新する。

【0028】上述した従来のRTT測定は、受信者がRTT値を測定するためにパケットの送信時刻をタイムスタンプとして含むパケットを送信者に向けて送信し、それを受信した送信者がタイムスタンプを応答パケットの中に付加して返信し、受信者が受信時刻とタイムスタンプ値との差からRTT値を見積もるという手順で行われる。通常、この手順は定期的な間隔で行われる。受信者は1回前のRTT測定で見積もったRTT値を上記RTT測定のためのパケットに付加して送信することにより、送信者において受信者群中で最速受信者のRTT値を見積もり、応答パケットの中にその値が付加される。応答パケットを受け取った受信者は自身のRTT値と、最速受信者のRTT値とを知ることができる。

【0029】

【発明が解決しようとする課題】一般に、ネットワーク中のある部分で輻輳が起こった場合には一時的にRTT値が非常に大きくなる。この場合、上述した従来の方式では受信者はRTT測定用のパケットを用いてRTT値を一定時間間隔毎にしか測定することができないため、ネットワークの動的変化に追従して自身の正確なRTT値を見積もることが困難となる。同様に、輻輳が解消しRTT値が小さくなった場合も、そのRTT値を測定するまでに時間間隔があり、正確なRTT値に追従することが困難である。

【0030】これを解決するには、RTT値の見積り間隔時間を短くすれば良いと考えられる。しかしながら、

測定時間間隔を短くするということは、それだけネットワーク中に多くのパケットを送出することとなり、オーバーヘッドが大きくなってしまふ。また、輻輳がなくあまりRTT値の変動がない状態であってもRTT測定のパケットが送信されることになり、無駄なパケットがネットワーク中を流れ、ネットワークリソースの有効利用ができないという問題がある。

【0031】さらに、送受信者間のみでのRTT測定は送信者にRTTパケットの処理負荷が大きくなるという問題がある。ツリー構造を利用して階層的にRTT測定を行う場合には、送信者の負荷は軽減されるが、各ノード、受信者はランダムにRTT測定を行うことになるので、あるリンクで輻輳が起こり、RTT値が大きく変化した場合にその情報が階層的に受信者まで伝達されるのに時間がかかることが起こりえる。

【0032】この問題点について、図13を用いて説明する。同図はツリー構造を用いたRTT測定における測定遅延を示す図である。

(1) 図13に示されているようにRTT測定間隔は2秒とし、輻輳がない状態での各リンク遅延は10ms、各ノード及び受信者がランダムに設定した初期測定時刻は受信者が0.5秒時、ノードN1が1.5秒時、ノードN2が1.0秒時とする。

(2) 送信者TとノードN1との間で1秒時に輻輳が発生し、リンク遅延が10msから50msに変化する。

(3) RTT測定にかかる時間は測定間隔に比べて小さいので無視すると、輻輳がない状態において、ノードN1, N2、受信者RのRTT値はそれぞれ10ms、20ms、30msとなる。

(4) 1秒後に送信者TとノードN1との間で輻輳が発生するが、ノードN1がそれを知ることができるのは、RTT測定間隔ごとであるので1.5秒後となる。

(5) ノードN2は1.0秒時にRTT値を測定しているが、その時点ではノードN1がまだ輻輳を検出できていないので、ノードN2が正確なRTT値を知ることができるのは2度目の測定である3.0秒後である。

(6) 受信者Rは2度目の測定を2.5秒後に行うが、その時点ではノードN2が輻輳を検出できていないので、受信者Rが輻輳によりRTT値の変化が起こったことを知ることができるのは3度目の測定である4.5秒後となる。

(7) 結局1秒の時点で起こった輻輳情報が受信者に届くまでに3.5秒のタイムラグが起こっており、測定間隔よりもさらに大きな測定遅延が起こっていることがわかる。

(8) この遅延は送信者Tに近いノードから順番にRTT測定を行うようにすれば解消できる。しかし、下流ノードが、上流ノードにおいてRTT値をいつ測定したかを知るのは困難であり、適切な測定時刻を各ノードN1, N2及び受信者Rが設定するのは難しく、たとえ適

切に設定できてもRTT測定間隔以上の遅延が起これる。

【0033】本発明は上述した従来技術の欠点を解決するためになされたものであり、その目的は輻輳の有無等を考慮してRTT値をより効率的に測定することのできるRTT測定方法、及び、RTT測定システムを提供することである。

【0034】

【課題を解決するための手段】本発明の請求項1によるRTT測定方法は、複数のノードを含むネットワークにおいて、データパケットのロス時に上流ノードに向けて送信される再送要求パケットと該パケットに回答して下流ノードに向けて送信される下流方向パケットとを使用してパケット送受信の往復時間であるRTT値の測定を行うRTT測定方法であって、データパケットのロスを検出した受信者ノードは、タイムスタンプ値及び自ノードのアドレスとを含む再送要求パケットをユニキャストで上流ノードに送信し、前記再送要求パケットを受け取った上流ノードは前記タイムスタンプ値及び前記アドレスを含む下流方向パケットをマルチキャストで下流ノードに送信し、前記受信者ノードにおいては、前記下流方向パケットに含まれているタイムスタンプ値に基づいてRTT値を測定することを特徴とする。

【0035】本発明の請求項2によるRTT測定方法は、請求項1において、前記下流方向パケットは、再送要求抑圧のために上流ノードから送信される再送要求抑圧パケットであることを特徴とする。本発明の請求項3によるRTT測定方法は、請求項1において、前記下流方向パケットは、前記再送要求パケットに回答して前記データパケットの送信元である送信者ノードから送信される再送データパケットであることを特徴とする。

【0036】本発明の請求項4によるRTT測定方法は、請求項1～3のいずれかにおいて、前記上流ノードは、前記下流方向パケットを送信する際、自ノードから前記送信者ノードまでの最新のRTT値を付加し、該パケットを受け取ったノードは、該RTT値と、自ノードから前記上流ノードまでのRTT値とを参照して自ノードから前記送信者ノードまでのRTT値を設定するようにしたことを特徴とする。

【0037】本発明の請求項5によるRTT測定方法は、請求項1～4のいずれかにおいて、前記上流ノードは、前記下流方向パケットを送信する際、自ノードからその直下の最速ノードまでのRTT値を付加し、前記下流方向パケットを受け取ったノードは、該RTT値を参照して上流ノードからその直下の最速ノードまでのRTT値を設定するようにしたことを特徴とする。

【0038】本発明の請求項6によるRTT測定方法は、請求項1～5のいずれかにおいて、前記上流ノードは、最先の再送要求パケットについてのみ上流に送信し、他の再送要求パケットについては破棄することを特

徴とする。本発明の請求項7によるRTT測定方法は、請求項1～6のいずれかにおいて、前記上流ノードは、配信すべきデータを保持し、前記再送要求パケットを受け取った場合には、前記送信者ノードの代わりにデータパケットを配信するローカルリカバリを行うことを特徴とする。

【0039】本発明の請求項8によるRTT測定システムは、複数のノードを含むネットワークにおいて、データパケットのロス時に上流ノードに向けて送信される再送要求パケットと該パケットに回答して下流ノードに向けて送信される下流方向パケットとを使用してパケット送受信の往復時間であるRTT値の測定を行うRTT測定システムであって、データパケットのロスを検出したとき、タイムスタンプ値及び自ノードのアドレスとを含む再送要求パケットをユニキャストで上流ノードに送信する受信者ノードと、前記再送要求パケットを受け取ったときに、前記タイムスタンプ値及び前記アドレスを含む下流方向パケットをマルチキャストで下流ノードに送信する上流ノードと、を含み、前記受信者ノードにおいて、前記下流方向パケットに含まれているタイムスタンプ値に基づいてRTT値を測定することを特徴とする。

【0040】本発明の請求項9によるRTT測定システムは、請求項8において、前記下流方向パケットは、再送要求抑圧のために上流ノードから送信される再送要求抑圧パケットであることを特徴とする。本発明の請求項10によるRTT測定システムは、請求項8において、前記下流方向パケットは、前記再送要求パケットに回答して前記データパケットの送信元である送信者ノードから送信される再送データパケットであることを特徴とする。

【0041】本発明の請求項11によるRTT測定システムは、請求項8～10のいずれかにおいて、前記上流ノードは、前記下流方向パケットを送信する際、自ノードから前記送信者ノードまでの最新のRTT値を付加し、該パケットを受け取ったノードは、該RTT値と、自ノードから前記上流ノードまでのRTT値とを参照して自ノードから前記送信者ノードまでのRTT値を設定するようにしたことを特徴とする。

【0042】本発明の請求項12によるRTT測定システムは、請求項8～11のいずれかにおいて、前記上流ノードは、前記下流方向パケットを送信する際、自ノードからその直下の最速ノードまでのRTT値を付加し、前記下流方向パケットを受け取ったノードは、該RTT値を参照して上流ノードからその直下の最速ノードまでのRTT値を設定するようにしたことを特徴とする。

【0043】本発明の請求項13によるRTT測定システムは、請求項8～12のいずれかにおいて、前記上流ノードは、最先の再送要求パケットについてのみ上流に送信し、他の再送要求パケットについては破棄することを特徴とする。本発明の請求項14によるRTT測定シ

システムは、請求項 8～13 のいずれかにおいて、前記上流ノードは、配信すべきデータを保持し、前記再送要求パケットを受け取った場合には、前記送信者ノードの代わりにデータパケットを配信するローカルリカバリを行うことを特徴とする。

【0044】要するに、NAKパケットは受信者がパケットロスを検出した場合に送信されるので、NAKパケットの送信時にはネットワークの輻輳が起こっている可能性が高い。このため、本発明では、定期的な R T T 値の見積りパケットに加えて、NAKパケットでも R T T 値の見積りを行う。これにより、ネットワークにおいて輻輳が起こっていない場合は、従来と同じく定期的な R T T 値の見積りであり、輻輳が起こっている場合には R T T 値の測定をより短い間隔で行うことができる。よって、ネットワークに無駄なパケットを送信し、負荷をかけることなく正確な R T T 値の見積りができ、NAKパケットの再送タイム間隔、NAK抑圧のタイム間隔等を正確に見積もることが可能となる。

【0045】

【発明の実施の形態】次に、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。なお、以下の説明において参照する各図では、他の図と同等部分は同一符号によって示されている。前述したように、ネットワーク中に輻輳が起き、パケットロスが発生すると受信者はパケットロスを検出して NAKパケットを送信する。つまり、NAKの送信時にはネットワークに何らかの変化があり、R T T 値が変化している可能性が高い。そこで、本発明では、この NAKパケットを用いて R T T 値を測定する。

【0046】NAK集約を行わない場合は、送信者と受信者との間だけで NAKのやり取りが行われ、受信者はパケットロスを検出すると NAKパケットをマルチキャストで送信する。この時に送信する NAKパケットには、タイムスタンプと前回測定した R T T 値とを付加する。各受信者はマルチキャストで送信された NAKパケットを受信すると、NAKパケットを送信するのをやめるだけで特に処理に変化はない。一方、送信者は NAKパケットが届くと NAKパケットに付加されている R T T 値と配下の最遠受信者の R T T 値とを比較して、必要ならば配下の最遠受信者の R T T 値を更新する。NAKパケットにより要求されたデータを再送することになるので、その再送するデータパケットに、NAKパケットに付加されているタイムスタンプと NAKパケットの送信者アドレスと、配下の最遠受信者の R T T 値とをデータとして付加し、このデータパケットをマルチキャストアドレス宛てに送信する。

【0047】再送データを受け取った受信者のうち、データパケットに付加されている NAK送信者アドレスと一致する受信者は R T T 値の見積り及び上流への最悪 R T T 値 (UP Worst R T T) の更新を行う。

それ以外の受信者はデータの修復と上流への最悪 R T T 値の更新とを行うだけで、R T T 値の見積りも行わない。

【0048】これにより、NAKパケットを送信した受信者は再送データパケットを受け取ることで、R T T 値の見積り更新が行え、それ以外の受信者は NAK抑圧を行うための基準となる R T T 値の更新が行えることになる。送信者がデータパケットに NAK送信者のアドレスを付加するのは、そのデータパケットがどの NAKパケットに対応するものであるかを示すためである。また、ユニキャストで送信される R T T 測定パケット及び、R T T 測定パケットに対する応答パケットと違い、NAKパケット及び再送データパケットはマルチキャストで送信されるので、どの受信者が送信した NAKパケットに対する応答なのかを明確に示す必要があるためである。なお、UP Worst R T T 値の更新は受信者毎に NAK受信時に比較して行うこともできる。

【0049】R T T 測定パケットと異なり、定期的ではなく輻輳等によりパケットロスを検出した受信者のみが、輻輳が起こっている期間だけ非定期的に R T T 測定を行えるので、ネットワークの動的な変化に追従して R T T 値を測定することができる。また、NAK抑圧のための基準となる R T T 値は全受信者で統一して正確に知ることができるので、NAK抑圧が効率よく働く。もし受信者ごとに基準としている R T T 値が異なり、小さい R T T 値を基準として NAK抑圧を行うと、マルチキャストで送信された NAKが届く前に NAKパケットを送信してしまう受信者が多くなり、NAK抑圧が効率よく働かないということが起こるが、本方式ではそのようなことはない。

【0050】NAK抑圧の効果により、NAKパケットを送信することを抑制された受信者は NAKパケットにより R T T 値を測定することはできない。しかしながら、輻輳が発生しているリンク配下に存在する受信者は、輻輳によるパケットロスが頻繁に起こり、他の受信者に比べて NAKパケットを送信しやすく、NAKパケットにより R T T 値の見積りを行える機会が増えるので、NAK抑圧による NAK送信の抑制はそれほど問題にならない。

【0051】以上の方式の利点は、状態の悪い、つまり R T T 値の変動が大きいと考えられる受信者が頻繁に R T T 値を測定することができ、逆に状態のよい受信者は通常の定期的な R T T 値の測定のみ行うことになり、ネットワークの状態に応じて動的に R T T 値の見積りを行う時間間隔を変化させることが可能となる点である。また、NAKパケット及び再送データパケットを用いて R T T 値の見積り及び、配下の最悪 R T T 値の通知を行っているため、従来方式と比べてネットワーク中に送出するパケット量には変化がない。したがって、ネットワークに与える影響は、それらのデータをパケット中に

付加することによる数バイト程度のオーバーヘッドと少なくて済み、効率よくRTT値を測定できる。

【0052】ここで、図1を参照し、送信者と受信者との間でのみRTT値を見積もる場合において、NAKパケット及び再送データパケットを利用したRTT値の見積もり方式について説明する。なお、表2は送受信者間*

*のみでRTT値を見積もる場合に使用されるNAKパケット及び再送データパケットに付加されるパラメータを示す表である。

【0053】

【表2】

パケットの種類	パケット中のデータ			
NAKパケット	要求データ番号	送信時刻のタイムスタンプ	自身から送信者までのRTT	
再送データパケット	データ番号およびデータ	NAKパケット中のタイムスタンプ	NAK送信者のアドレス	Down Worst RTT

【0054】表2を参照すると、NAKパケットは、要求データ番号、送信時刻のタイムスタンプ、及び自身から送信者までのRTT値を、データとして含んでいる。また、再送データパケットは、データ番号及びデータ、NAKパケットに付加されているタイムスタンプ、NAK送信者のアドレス、及びDown Worst RTT値を、データとして含んでいる。

【0055】図1には、本発明によるRTT測定システムの一実施形態が示されている。

(1) ある時刻にノードN1とノードN2との間のリンクにおいて輻輳が発生し、このリンク間のRTT値が10msから25msになり、パケットロスが発生したとする。

(2) 受信者R1、R2はパケットロスを検出し、NAK抑圧により、ランダム時間待った後、受信者R2が先にNAKパケットをマルチキャストで送信する。この際に受信者R2は前回測定したRTT値(50ms)とタイムスタンプとをNAKパケットに付加する。

(3) 受信者R1はそのマルチキャストNAKパケットを受け取り、NAKパケットを送信するのを抑止する。また、送信者はNAKパケットを受信し、再送データパケットにタイムスタンプ、受信者R2のアドレス、及びDown Worst RTT(60ms)を付加して送信する。

(4) 受信者R1はデータを受け取り、パケットロスを修復する。受信者R2はデータを受け取ると、自身のRTT値を更新し、RTT値が65msになったことを知る。受信者R3はデータを受け取るが既に持っているデータなので、破棄する。また、この時点では全受信者ともUP Worst RTT値の更新はない。受信者R2はこの時点でUP Worst RTT値の更新を行ってもよいが、全受信者で同じ値を統一できないので、再送データ受信時に行うほうが望ましい。

(5) 輻輳が続いている状態では再びパケットロスが発生し、受信者R1、R2は何度かパケットロスを検出する。NAK抑圧の効果により、どちらか一方がNAKパケットを送信することになる。

(6) 再び受信者R2がNAKパケットを送信したとす

ると、受信者R2はタイムスタンプと前回測定したRTT値(65ms)とをNAKパケットに付加して送信する。

(7) 受信者R1、R3はマルチキャストで送信されたNAKパケットを受信する。受信者R3は無駄なNAKなので破棄するが、受信者R1はNAK抑圧により、NAKの送信を抑止する。受信者R1、R3はこの時点でUP Worst RTT値の更新を行ってもよいが、全受信者で同じ値を統一できないので、再送データ受信時に行うほうが望ましい。

(8) 送信者はNAKパケットを受信すると、保持しているDown Worst RTT値(60ms)よりもパケットに付加されているRTT値(65ms)のほうが大きいので、パケットに付加されているRTT値でDown Worst RTT値を更新する。

(9) 送信者は再送データにタイムスタンプ、受信者R2のアドレス、及びDown Worst RTT値を付加して送信する。

(10) 受信者R1、R2は再送データを受け取りデータの修復を行う。受信者R2はRTT値の見積もりを行い、全受信者はパケットに付加されているDown Worst RTT値でUP Worst RTT値の更新を行う。

(11) この時点では受信者R1は正確なRTT値を測定できていないが、受信者R1がNAKパケットを送信すれば受信者R1も正確なRTT値を測定できることになる。

(12) 状態のよい受信者R3はNAKパケットを送信しないので、RTT値の測定は定期的である。一方、受信者R1、R2はNAKの送信機会を得るので、自身のRTT値を測定することができる。また、NAKパケットを送信しない受信者R3も含めて全受信者は、再送データにより、UP Worst RTT値の更新が可能となる。

【0056】(ツリー構造を利用したRTT測定) 次に、本発明の方式を、ツリー構造を利用したRTT測定に使用する場合を考える。この場合は、NAK集約及びNAK抑圧を同時利用するので、ネットワーク中に流れ

る無駄なパケットを減らすことができ、かつネットワーク中で輻輳が起きている部分においてRTT測定を非定期的に行うことができるようになり、より効率よく、かつタイトにRTT値を測定できる。この場合は、受信者はパケットのロスを検出すると、上流のノードに向けてユニキャストでNAKパケットを送信する。受信者は前述の送受信者間のみで行われるNAKパケットによるRTT測定方法と同様に、NAKパケットに送信時刻のタイムスタンプと自身が前回に測定したRTT値とを付加して送信する。上流のノードはNAKパケットを受信すると、NAKパケットに付加されているRTT値と自身が保持しているDown Worst RTT値とを比較して、必要ならばDown Worst RTT値を更新する。続いてNAKパケットに付加されているNAKカウント数と自身が保持しているNAKカウント数とを比較する。NAKパケットに付加されているNAKカウント数のほうが大きければ、上流ノードに向けてNAKパケットを送信する必要があるために、送信時刻のタイムスタンプと、自身と上流ノードとの間のRTT値とをNAKパケットに付加して、上流ノードに向けて送信する。それと同時に、NAK抑圧のために、配下の受信者に対してNAKパケットをマルチキャストする必要があるため、配下にマルチキャストするNAKパケットに、先ほど受け取ったNAK中のタイムスタンプ、NAKパケットを送信してきた受信者のアドレス、Down Worst RTT値、及び自身から送信者までのRTT値を付加してマルチキャストで配下の受信者に送信する。マルチキャストされたNAKパケットを受け取った受信者のうち、まだNAKパケットを送信していない受信者はNAK抑圧により、NAKの送信を抑止する。NAKパケットを送信した受信者は、自身から上流ノードまでのRTT値を更新する。また、全ての受信者は、マルチキャストされたNAK中の上流ノードから送信者までのRTT値と自身のRTT値との和をとることにより、自身から送信者までのRTT値を更新する。

【0057】以上を階層的に送信者まで繰り返し行う。そして、NAKが送信者に到達した時点で、送信者はNAKパケットに付加されているRTT値とDown Worst RTT値については同様に比較して、必要ならばDown Worst RTT値の更新を行う。次に、送信者は、NAKで要求されたデータを再送する必要があるかどうかを再送回数とNAKパケットに付加されているNAK送信回数とを比較して調査し、必要ならば再送を行う。この再送を行う際には、データパケットにはタイムスタンプ、NAK送信ノードもしくは受信者のアドレス、Down Worst RTT値を付加して送信する。この再送データを受け取ったノードは、再送データパケットに付加されているDown Worst RTTでUP Worst RTT値を更新し、再送データパケットが、自身がNAKで要求したものに對する

応答であるかをアドレス比較により調査し、自身が要求したものであれば、自身から送信者へのRTT値を見積もる。

【0058】次に、そのノードは、再送データパケットを配下に転送する必要があるかどうかを調査し、配下に転送する必要がある場合は、Down Worst RTT値と自身から送信者までのRTT値とをデータパケットに付加し、このデータパケットをマルチキャストで配信する。その際にタイムスタンプ値やNAK送信者のアドレスは無効な値とする。データを受け取ったノードもしくは受信者は、Down Worst RTT値を更新し、データパケットに付加されている上位ノードから送信者までのRTT値と自身が保持している自身から上位ノードまでのRTT値との和をとって自身から送信者までのRTT値を見積もる。このようにして階層的な再送データ配信を行う際に、Down Worst RTT及びRTT値の更新を行っていく。

【0059】ツリー構造を利用してRTT値を見積もる場合、送受信者間のみでRTT測定を行う場合と異なり、最初にユニキャストNAKパケットを送信した受信者はNAK抑圧のために上流ノードからマルチキャストで配信されるNAKパケットを受信することで上流ノードとのRTT値を見積もることができる。次にNAKが送信者まで届いた後に、再送データが配信されるので、上流ノードが順次NAK送信によって求めたRTT値及びDown Worst RTT値を再送データ受信時に知ることができる。したがって、一度のNAK送信で、自身から送信者までのRTT値及びDown Worst RTT値の両方を更新することができる。このため、NAKパケットによってRTT測定を行う場合は、従来技術の問題点となっていた、正確なRTT値を測定するまでの遅延時間というものがなくなり、NAK送信後のマルチキャストNAK受信、再送データ受信により、RTT値の見積もりが行えることになる。

【0060】図2及び表3を参照して、ツリー構造を使用してRTT値を見積もる場合のNAKパケット及び再送データパケットを利用したRTT値の見積もり方式について説明する。表3はその場合に使用されるユニキャストNAKパケット、マルチキャストNAKパケット及び再送データパケットに付加されるパラメータを示す表である。

【0061】

【表3】

パケットの種類	パケット中のデータ	送信時刻のタイムスタンプ	前回求めた自身のRTT値		自身から送信者までのRTT値
ユニキャスト NAKパケット	要求データ 番号	ユニキャストNAK中のタイムスタンプ(上流に送信した記録がない場合は無効な値を指定する)	ユニキャストNAKを送信したノードもしくは受信者のアドレス(送信記録がない場合は無効な値)	Down Worst RTT	自身から送信者までのRTT値
マルチキャスト NAKパケット	要求データ 番号	ユニキャストNAK中のタイムスタンプ(送信者が再送データを送信する場合以外はこのパラメータは指定せず NULL や-1 などとする)	ユニキャストNAKを送信したノードもしくは受信者のアドレス(タイムスタンプと同様に送信者以外のノードでは無効な値を指定する)	Down Worst RTT	自身から送信者までのRTT値 (送信者の場合は0を指定)
再送データ パケット	データ番号 およびデータ				

【0062】表3を参照すると、ツリー構造を用いてRTT値を測定する際の、ユニキャストNAKパケットには、要求データ番号、送信時刻のタイムスタンプ、及び前回求めた自身のRTT値がデータとして含まれている。また、マルチキャストNAKパケットには、要求データ番号、ユニキャストNAK中のタイムスタンプ、ユニキャストNAKパケットを送信したノードもしくは受信者のアドレス、Down Worst RTT値、及び自身から送信者までのRTT値がデータとして含まれている。ただし、ユニキャストNAK中のタイムスタンプ

については上流に送信した記録がない場合は無効な値を指定し、ユニキャストNAKパケットを送信したノードもしくは受信者のアドレスについては送信記録がない場合は無効な値とする。

【0063】さらに、再送データパケットには、データ番号及びデータ、ユニキャストNAK中のタイムスタンプ、ユニキャストNAKパケットを送信したノードもしくは受信者のアドレス、Down Worst RTT値、及び自身から送信者までのRTT値がデータとして含まれている。ただし、ユニキャストNAK中のタイムスタンプについては送信者が再送データを送信する場合以外はNULLや-1とし、ユニキャストNAKパケットを送信したノードもしくは受信者のアドレスについても同様に送信者以外のノードでは無効な値を指定する。自身から送信者までのRTT値については、送信者の場合は0を指定する。

【0064】図2は本発明におけるツリー構造を利用したNAKパケットによるRTT測定方式を示す図である。

- 20 (1) 図1の場合と同様に、ある時刻にノードN1とノードN2との間で輻輳が起り、RTT値が10msから25msになり、パケットロスが発生する。
- (2) 受信者R1、R2はパケットロスを検出し、NAK抑圧によりランダム時間待った後、受信者R2が先にNAKパケットを送信するとする。
- (3) 受信者R2は、送信時刻のタイムスタンプと、自身が前回測定したUP RTT値(30ms)とをNAKパケットに付加し、このNAKパケットをユニキャストでノードN2に送信する。
- 30 (4) ノードN2はNAKパケットを受け取ると、自身が保持しているDown Worst RTT(30ms)とNAKパケットに付加されているRTT値(30ms)とを比較して、必要ならばDown Worst RTT値を更新する。
- (5) ノードN2はNAKパケットに付加されているNAKカウント数と保持しているNAK情報のNAKカウント数とを比較して、NAKパケットを上流に送信すべきかどうかを判断する。
- (6) NAKパケットを上流に送信する必要がある場合は、ノードN2がNAKパケットを送信する時刻のタイムスタンプと自身が前回測定したUP RTT値(10ms)とをNAKパケットに付加し、このパケットを送信する。また、NAK抑圧のために配下の受信者にNAKパケットをマルチキャストする必要があるため、受信者R2からのNAKパケットに付加されているタイムスタンプ、受信者R2のアドレス、Down Worst RTT値(30ms)、及び自身から送信者までのRTT値(20ms)をNAKパケットに付加し、このパケットを配下受信者にマルチキャストする。
- 40 (7) 受信者R1、R2はマルチキャストNAKパケッ

トを受信するとNAKパケットに付加されているDown Worst RTT値(30ms)でUPWorst RTT値(30ms)を更新する。また、受信者R2はNAKパケットに付加されているユニキャストNAK送信者のアドレスが自身のアドレスと一致するため、NAKパケットの受信時刻とNAKパケットに付加されているタイムスタンプ値との差分からUP RTT値(30ms)を見積もる。最後に受信者R1、R2共にNAKパケットに付加されているノードから送信者までのRTT値と自身のUP RTT値との和をとって自身

(8) ノードN1はノードN2からのユニキャストNAKパケットを受信するとノードN2が受信者R2からのユニキャストNAKパケットを受信した時と同様の処理を行う。

(9) ノードN2はノードN1からのマルチキャストNAKパケットを受信すると、NAKパケットに付加されているDown Worst RTT値(15ms)で自身のUP Worst RTT値(15ms)を更新し、NAKパケットに付加されているユニキャストNAK送信者のアドレスが自身のアドレスと一致するために、自身のUP RTT値(25ms)を見積もる。最後に、そのNAKパケットについて上流に転送したことがないかどうか調査し、転送したことがあるのでNAKパケットを破棄する。

(10) ノードN3はノードN1からのマルチキャストNAKパケットを受信すると、NAKパケットに付加されているDown Worst RTT値(15ms)で自身のUP Worst RTT値(15ms)を更新し、ノードN1からのマルチキャストNAKパケットに付加されている送信者までのRTT値(10ms)と自身のUP RTT値(15ms)との和で送信者までのRTT値を見積もる。最後に、そのNAKパケットについて上流に転送したことがないかどうか調査する。

(11) ノードN3は上流にNAKパケットを転送していないので、配下にNAKパケットをマルチキャスト配信もしていないため、Down Worst RTT値(35ms)及び自身から送信者までのRTT値(25ms)をNAKパケットに付加して配下にマルチキャスト送信する。

(12) 受信者R3はマルチキャストNAKパケットを受け取るとNAKパケットに付加されているDown Worst RTT値(35ms)で自身のUPWorst RTT値(35ms)を更新する。

(13) 送信者はノードN1からのユニキャストNAKパケットを受信すると、NAKパケットに付加されているUP RTT値(10ms)と自身が保持しているDown Worst RTT値(10ms)とを比較し、必要ならばDown Worst RTT値を更新する。

(14) 送信者はデータを再送する必要があるかNAKパケットに付加されているNAKカウント数と、データの再送回数とを比較し、必要があればデータの再送を行う。

(15) 送信者はデータの再送を行う際に、NAKパケットに付加されているタイムスタンプ、NAKの送信者アドレス、及びDown Worst RTT値(10ms)を再送データパケットに付加してマルチキャストで送信する。

(16) ノードN1は再送データパケットを受け取ると再送データパケットに付加されているDown Worst RTT値(10ms)で自身のUP Worst RTT値(10ms)を更新し、NAKパケットに付加されているNAK送信者アドレスが自身のアドレスと一致するため自身のUP RTT値(10ms)を見積もる。最後に再送データパケットに付加されている送信者までのRTT値(この場合は送信者からの直接の再送データなので0ms)と自身のUPRTT値との和をとることにより自身から送信者までのRTT値(10ms)を見積もる。

(17) ノードN1は上流にNAKパケットを送信しているので、再送データを配下にマルチキャストする。この際には、自身が保持しているDown Worst RTT値(15ms)、及び送信者までのRTT値(10ms)を再送データパケットに付加してマルチキャストで送信する。

(18) ノードN3は再送データパケットを受信すると再送データパケットに付加されているDown Worst RTT値(15ms)で自身のUP Worst RTT値(15ms)を更新し、データパケットに付加されている送信者までのRTT値(10ms)と自身のUP RTT値(20ms)との和を取り、自身から送信者までのRTT値(25ms)を見積もる。最後に、配下にデータを配信するべきかどうかを調査する。この場合は上流にNAKパケットを送信したことがないデータであるので、配下に配信せず破棄する。

(19) ノードN2は再送データパケットを受信すると再送データパケットに付加されているDown Worst RTT値(15ms)で自身のUP Worst RTT値(15ms)を更新し、データパケットに付加されている送信者までのRTT値(10ms)と自身のUP RTT値(25ms)との和で自身から送信者までのRTT値(35ms)を見積もる。最後に、配下にデータを配信するべきかどうかを調査する。この場合は、上流にNAKパケットを送信しているのでデータを配下に配信する必要があり、Down Worst RTT値(30ms)、自身から送信者までのRTT値(35ms)をデータパケットに付加し、このデータパケットを配下にマルチキャスト配信する。

(20) 受信者R1、R2は再送データパケットを受信

すると再送データパケットに付加されているDown Worst RTT値(30ms)で自身のUP Worst RTT値を更新し、データパケットに付加されている送信者までのRTT値(35ms)と自身のUP RTT値との和で自身から送信者までのRTT値を見積もる。

(21)これらのNAK及び再送データの処理により、受信者R1、R2は送信者までの正確なRTT値を見積もることができ、一度の再送処理により、RTT値の見積もりが可能となる。

(22)ノードN1が保持しているDown Worst RTT値が正確な値でないが、次にノードN2を経由してNAKが送信されるとこの値も正確な値となる。

(23)なお、表3中においては、データについて無効な値を指定すると記述しているが、特に変更する必要はない。変更しなければ、配下においてアドレスが一致しないため処理されないからである。

【0065】(ローカルリカバリを行う場合のRTT測定)最後に、ローカルリカバリを行う場合のNAK、再送データを用いたRTT測定方法について述べる。これは、ローカルリカバリを行うノードが前述のツリー構造におけるRTT測定方法の送信者の役割を行うことになり、他の部分はほぼ同じである。違う点は送信者が再送を行う場合は、自身から送信者までのRTT値を0として再送データパケットに付加して送信するが、ローカルリカバリを行うノードの場合は、このRTT値が0ではなく、送信者までのRTT値に置き換わるという点である。

【0066】同様に、ネットワーク中のノード装置がデータ受信をモニタしており、データの欠落がノード装置においても発見できる場合には、このノード装置が前述の受信者と同じ処理を行うことにより、正確なRTT値の測定が可能となる。なお、上流ノードからのRTT値(Down Worst RTT値及び配下の最悪受信者のRTT値)の通知にオリジナルデータ(NAKパケットに応じた再送データではなく、送信者から最初に送信されるデータ)を用いないのは、本方式においてはデータに付加するRTT値等をネットワーク中の各ノードにおいて書き換えるので、その都度チェックサム等の再計算が必要となるためネットワークノードにおける処理オーバーヘッドが大きいと考えられるからである。

【0067】送受信者間でのみRTT測定を行う際には、オリジナルデータにおいて配下の最悪受信者のRTT値を通知してもよい。ネットワークノードでの処理がないためである。もし、将来的にネットワークノードでの処理が非常に高速化され、処理遅延がほとんどなくなるのであれば、ツリー構造を用いてRTT測定を行う場合でもオリジナルデータで最悪受信者のRTT値及び、ノード装置から送信者までのRTT値を通知してもよい。

【0068】図3、図4、図5には、本方式を適用した場合のノード(送信者、受信者、ルータ)における、ユニキャストNAK受信時、マルチキャストNAK受信時、再送データ受信時の処理のブロック図がそれぞれ示されている。図3には各ノードにおけるユニキャストNAKの受信時の処理が示されている。同図において、ユニキャストNAKパケットを受信すると(ステップS301)、最初にRTT値の更新処理を行う(ステップS302)。次に、必要ならばNAK抑圧処理を行う(ステップS303)。この場合、マルチキャストNAKパケットを送信する。

【0069】さらに、ノードに再送データが保存されているか判断する(ステップS304)。ノードに再送データが保存されている場合には、必要ならば再送データ配信を行う(ステップS304→S305)。この場合、再送データをマルチキャストで送信する。一方、ノードに再送データが保存されていない場合には、必要ならばNAK集約処理を行う(ステップS304→S306)。この場合、ユニキャストでNAKパケットを送信する。

【0070】図4には各ノードにおけるマルチキャストNAKの受信時の処理が示されている。同図において、マルチキャストNAKパケットを受信すると(ステップS401)、最初にRTT値の更新処理を行う(ステップS402)。次に、必要ならばNAK抑圧処理を行う(ステップS403)。この場合、マルチキャストでNAKパケットを送信する。

【0071】図5には各ノードにおける再送データの受信時の処理が示されている。同図において、再送データを受信すると、(ステップS501)、最初にRTT値の更新処理を行う(ステップS502)。次に、必要ならば再送データ配信を行う(ステップS503)。この場合、再送データをマルチキャストで送信する。以上のように、図3～図5の処理においては、パケット受信時に最初にRTT更新処理を行っている。このため、NAK集約等により破棄されてしまうパケットであってもRTT更新処理を行うことができる。

【0072】以上のように、本発明によるRTT測定方法は、複数のノードを含むネットワークにおいて、データパケットのロス時に上流ノードに向けて送信される再送要求パケットと該パケットにตอบสนองして下流ノードに向けて送信される下流方向パケットとを使用してパケット送受信の往復時間であるRTT値の測定を行うRTT測定方法であり、データパケットのロスを検出したとき、タイムスタンプ値及び自ノードのアドレスとを含む再送要求パケットをユニキャストで上流ノードに送信する受信者ノードと、前記再送要求パケットを受け取ったときに、前記タイムスタンプ値及び前記アドレスを含む下流方向パケットをマルチキャストで下流ノードに送信する上流ノードと、を含み、前記受信者ノードにおいて、前

記下流方向パケットに含まれているタイムスタンプ値に基づいてRTT値を測定するRTT測定システムによって実現することができる。なお、前記下流方向パケットは、再送要求抑圧のために上流ノードから送信される再送要求抑圧パケット、又は、前記再送要求パケットに回答して前記データパケットの送信元である送信者ノードから送信される再送データパケットである。

【0073】そして、前記上流ノードは、前記下流方向パケットを送信する際、自ノードから前記送信者ノードまでの最新のRTT値を付加し、該パケットを受け取ったノードは、該RTT値と、自ノードから前記上流ノードまでのRTT値とを参照して自ノードから前記送信者ノードまでのRTT値を設定する。

【0074】また、前記上流ノードは、前記下流方向パケットを送信する際、自ノードからその直下の最遠ノードまでのRTT値を付加し、前記下流方向パケットを受け取ったノードは、該RTT値を参照して上流ノードからその直下の最遠ノードまでのRTT値を設定する。さらに、前記上流ノードは、最先の再送要求パケットについてのみ上流に送信し、他の再送要求パケットについては破棄する。

【0075】なお、前記上流ノードは、配信すべきデータを保持し、前記再送要求パケットを受け取った場合には、前記送信者ノードの代わりにデータパケットを配信するローカルリカバリを行うノードである場合もある。

【0076】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、ネットワーク中で輻輳が起こり、受信者がパケットロスを検出した際には通常の定期的なRTT測定以外に、NAKパケット（ユニキャスト、マルチキャスト）と再送データパケットを使用してRTT値の測定を行うことができるようになり、RTT値が激しく変化する輻輳時ににおいてより正確なRTT値の測定が可能になる。つまりは、送信者からの伝送経路中で輻輳が起こり、RTT値が変化しやすいと考えられるノードもしくは受信者はRTT値を測定する機会を多く得ることができ、逆に輻輳がない経路に存在するノードもしくは受信者は通常のRTT測定しか行わないので、ネットワークの動的変化に応じて、必要な部分でのみRTT測定の密度を変化させることができ、効率的なRTT測定が可能になるという効果がある。

【0077】また、本発明によれば、各受信者が輻輳時に効率よく正確にRTT値を測定できるとともに、送信者もしくはノード装置が受信者群中の最遠受信者のRTT値見積もりを行い、それを配下のノードもしくは受信者に効率よく通知することができ、これらの値を基準としてNAK抑圧を行う際のタイムや、NAKパケットを再送するタイムを設定することができるので、無駄なNAKの送信や、無駄なNAKが送信者やローカルリカバリを行うノードに届くことによる無駄な再送データの配

信が低減される。よって、信頼性マルチキャスト配信を効率よく行うことが可能になるという効果がある。

【0078】さらに、信頼性マルチキャストにおいて輻輳制御を行う際には、受信者は自身のロス率とRTT値とを基にして自身のスループットを算出し、その値を送信者に伝えることにより、送信者は全受信者中の最悪受信者のスループットに合わせて送信制御を行うという方法が一般的であるのに対し、本発明ではRTT値の見積もりが正確に行えるため、正確に最悪受信者の選択を行うことが可能となり、スループットの高い受信者に合わせて送信することによって状態が悪い受信者が頻繁にパケットロスを引き起こしてしまう現象等を防ぐことができ、効率よくデータを配信できるという効果がある。

【0079】送受信者間のみで信頼性マルチキャスト通信をする場合であっても、ネットワーク中のノードがサポートし、NAK抑圧やNAK集約を行う場合であっても、またローカルリカバリを行うノードがネットワーク中に存在する場合であっても、輻輳時のパケットロスを契機として受信者から送信されるNAK（ユニキャスト、マルチキャスト）と再送データとを用いてRTT値を測定できる。

【0080】また、本発明によれば、ネットワークに送信されるパケット量はほとんど変化せず、パケットに付加するデータのオーバーヘッドがわずかに増加する程度で済むという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるRTT測定方法を説明するための図である。

【図2】本発明によるRTT測定方法において、ツリー構造を使用してRTT値を見積もる場合を説明するための図である。

【図3】ノードにおけるユニキャストNAK受信処理を示すフローチャートである。

【図4】ノードにおけるマルチキャストNAK受信処理を示すフローチャートである。

【図5】ノードにおける再送データ受信処理を示すフローチャートである。

【図6】NAK集約時のノードでの処理を示す図である。

【図7】NAK抑圧処理を示す図である。

【図8】ローカルリカバリ処理を示す図である。

【図9】NAK抑圧しか行わない場合の問題点を説明するための図である。

【図10】NAK抑圧とNAK集約との同時利用を説明するための図である。

【図11】送信者と受信者との間のみでRTT測定を行う場合を示す図である。

【図12】ツリー構造を使用してRTT測定を行う場合を示す図である。

【図13】ツリー構造を使用したRTT測定における測

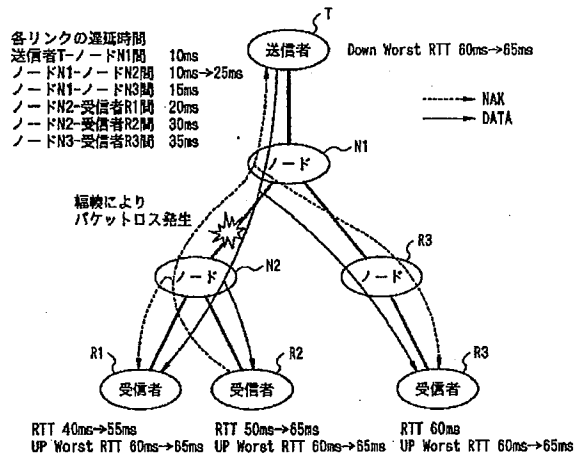
定遅延を示す図である。

【符号の説明】

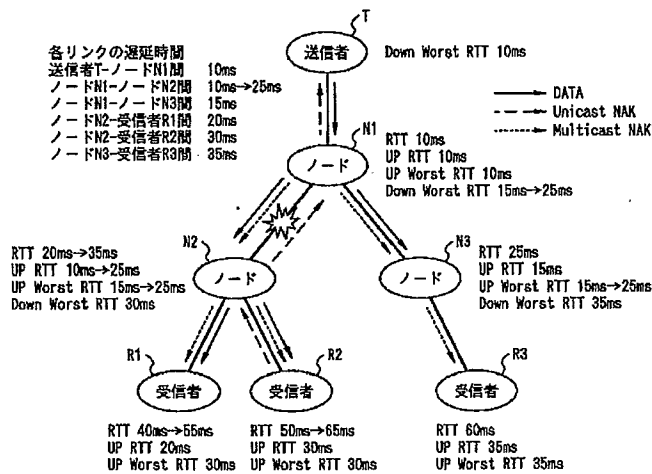
N, N1, N2, N3 ノード

*

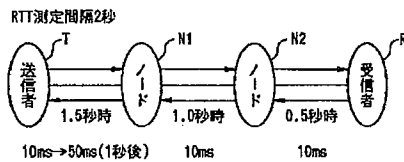
【図1】



【図2】



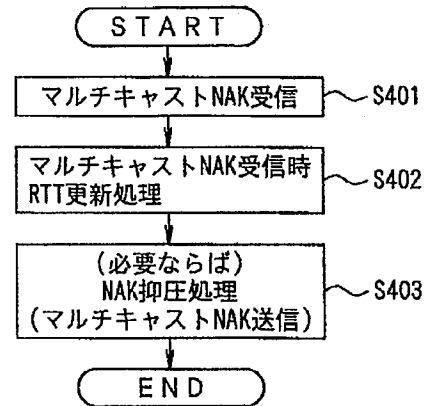
【図13】



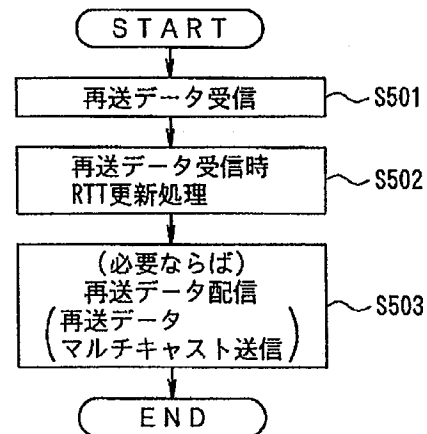
* R, R1, R2, R3 受信者

T 送信者

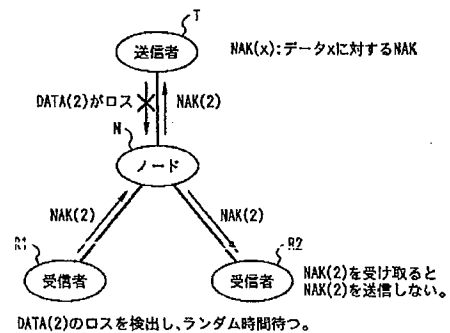
【図4】



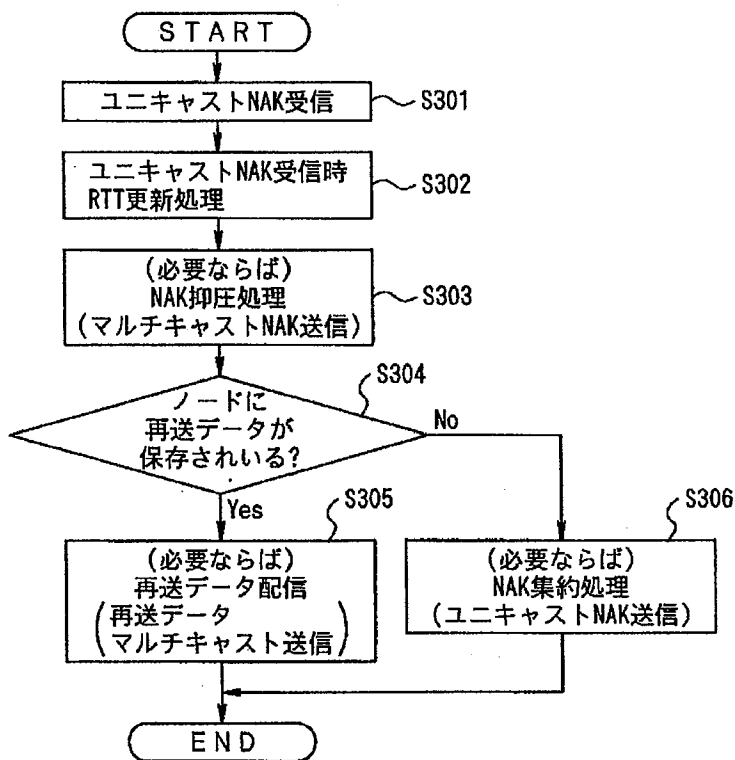
【図5】



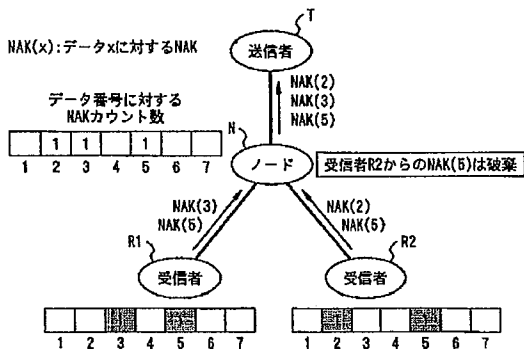
【図7】



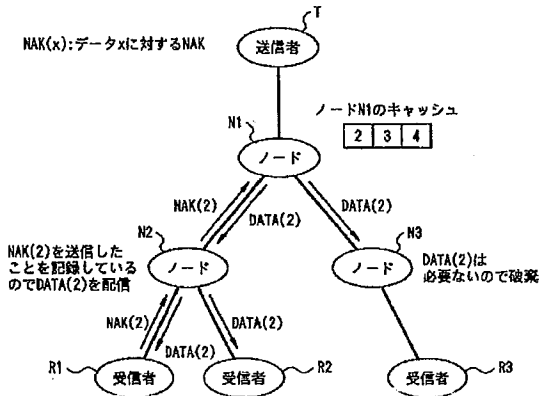
【図3】



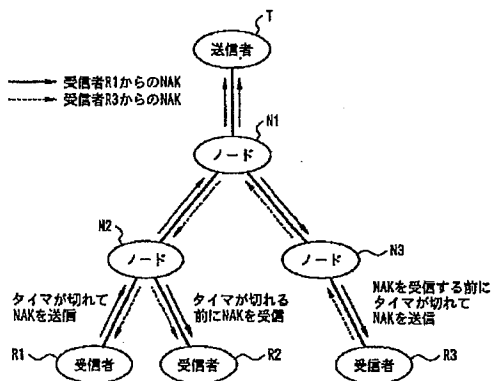
【圖6】



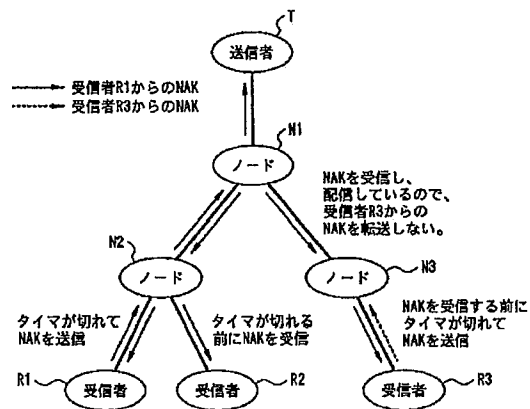
【図8】



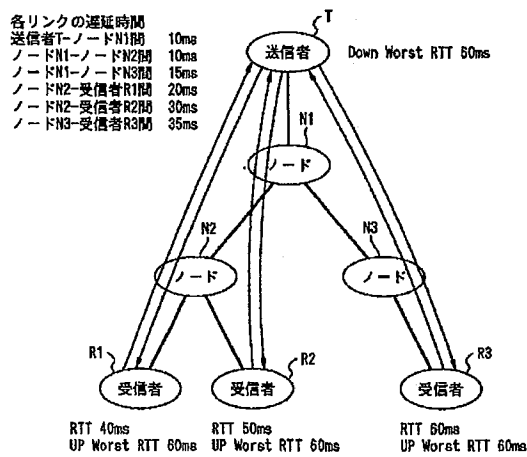
【図9】



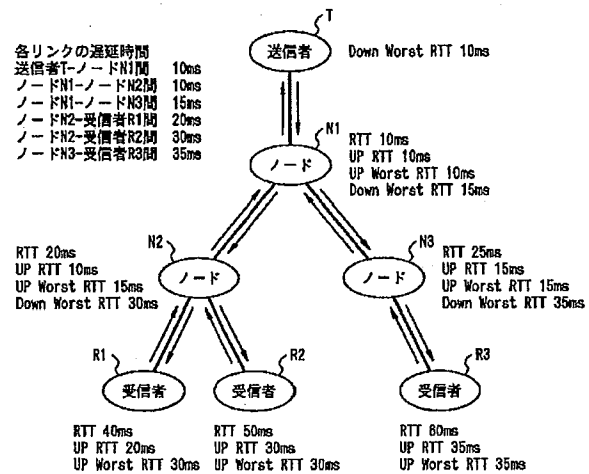
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

Fターム(参考) SK014 AA01 DA02 FA05 FA11
 SK030 GA14 HA08 HB15 LA02 LD06
 MB06